

# RESPON STRUKTUR PORTAL BAJA AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU NONLINIER

Muhammad Syauqi<sup>1)</sup>, Reni Suryanita<sup>2)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, <sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, <sup>3)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil,  
Program Studi Teknik Sipil S1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. H. R. Soebrantas KM. 12,5 Simpang Baru, Tampan, Pekanbaru 28293  
Email : Muhammad.syauqi@student.unri.ac.id

## Abstract

*Earthquakes are dynamic loads that greatly affect the state of the building structure. If the strength of the building can not withstand the dynamic load, then the building will be damaged even will collapse. The purpose of this study was to identify the structural response in the Indonesian quake region by using nonlinear dynamic analysis. Structural modeling using Banda Aceh, Bengkulu and Pekanbaru earthquake locations with medium soil condition on a 10-storey building made of steel with a constant inter-floor height of 4 m. Time history analysis in earthquake plan using 3 accelerated earthquake accelerator, namely: Kobe, Imperial Valley and Chichi earthquake. Each earthquake accelerator was given three treatments: 1). The earthquake scale is decreased by 50% (0.5 g), 2). Normal earthquake scale (1 g), and 3). The scale of the earthquake is increased by 200% (2 g). The analysis results show that the displacement, velocity, and acceleration of earthquake-load structures in each region are directly proportional to the increasing or decreasing of the earthquake-scale in buildings that do not occur in plastic joints.*

**Keywords :** *steel portal structure, response, displacement, velocity, acceleration, time history analysis*

## A. PENDAHULUAN

### A.1 Latar Belakang

Gempa merupakan beban dinamik yang sangat mempengaruhi keadaan struktur bangunan. Apabila kekuatan bangunan tidak dapat menahan beban dinamik tersebut, maka bangunan akan mengalami kerusakan bahkan akan mengalami keruntuhan. Keruntuhan bangunan akibat gempa juga umumnya sangat mendadak dan berbahaya bagi proses evakuasi jika tidak didesain dengan benar. Oleh karena itu, desain struktur bangunan di wilayah Indonesia harus mengacu kepada Peta Gempa Indonesia dan metode desain struktur yang telah disyaratkan di dalam SNI 1726-2012. Gempa bumi dapat diakibatkan oleh adanya pertemuan lempeng benua, tumbukan meteor, aktivitas gunung berapi maupun keruntuhan tanah. Adapun tingkat kekuatan getaran gempa tersebut bisaanya diukur menggunakan tiga macam skala yaitu Skala *Richter* (R), Skala *Modified*

*Mercalli* (MM) dan Skala Gravitasi Bumi (g) (widodo, 2001).

Bangunan yang berada di daerah rawan gempa seperti Indonesia, harus direncanakan untuk dapat memikul gaya lateral yang disebabkan oleh gempa. Baja merupakan alternatif bangunan tahan gempa yang sangat baik. Jika dibandingkan dengan struktur beton, baja dinilai memiliki sifat daktilitas yang dapat dimanfaatkan pada saat struktur memikul beban akibat gempa.

Adanya potensi gempa yang tinggi di Wilayah Indonesia, penentuan desain struktur yang tepat sangat penting dengan kondisi yang ada. Penentuan desain diawali dengan perencanaan struktur portal baja tahan gempa dengan cara membuat model rencana bangunan yang ditindaklanjuti dengan simulasi kinerjanya terhadap gempa rencana berdasarkan akselerasi gempa yang diskalakan pada wilayah Indonesia yang duji dengan analisis riwayat waktu. Setiap simulasi

memberikan gambaran tentang perilaku struktur portal baja dalam bentuk perpindahan, kecepatan, dan percepatan terhadap beban gempa sehingga akan diketahui informasi tentang kinerja dan daktilitasnya.

## A.2 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini yaitu menganalisis respons struktur (perpindahan, kecepatan dan percepatan) portal baja bangunan bertingkat tinggi di Indonesia berdasarkan akselerasi gempa Indonesia.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### B.1 Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (Anggen, 2014), yaitu :

- 1) Analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.
- 2) Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari input berupa akselerogram dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

### B.2 Analisis Riwayat Waktu

Menurut Chopra (2012), Analisa Riwayat waktu digunakan untuk menganalisis respons dinamik struktur yang menerima beban yang berubah-ubah terhadap waktu. Persamaan dinamik dari struktur seperti ini dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [K]u(t) = \{p(t)\}$$

Dimana  $[M]$  adalah matriks massa struktur;  $[C]$  adalah matriks redaman struktur;  $[K]$  adalah matriks kekakuan

struktur;  $u(t)$  adalah simpangan yang berubah terhadap waktu;  $\dot{u}(t)$  adalah kecepatan yang berubah terhadap waktu;  $\ddot{u}(t)$  adalah percepatan dari struktur yang berubah terhadap waktu; dan  $p(t)$  adalah vektor gaya yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu. Analisis riwayat waktu dibagi atas dua yaitu analisis riwayat waktu linier dan analisis riwayat waktu nonlinier. Siregar (2010) mengemukakan bahwa, struktur linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa ( $M$ ), Redaman ( $C$ ), dan Kekakuan ( $K$ ) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi awal setelah diberikan beban tertentu. Struktur yang diberi analisis Nonlinear adalah struktur yang mengalami perubahan Redaman ( $C$ ), dan Kekakuan ( $K$ ) pada kondisi tertentu. Analisa seperti ini membantu untuk memahami bagaimana sifat suatu struktur tersebut dapat bertahan. Nilai perbandingan titik hancur pertama kali leleh struktur disebut daktilitas ( $\mu$ ).

### B.3 Percepatan Gempa Masukan (Akselerogram)

Sebelum menerapkan rangkaian akselerogram dalam analisis struktural, data harus di skalakan untuk mengurangi ketidakcocokan antara karakteristik dan parameter desain di suatu wilayah berdasarkan standar atau dari situs hazard tertentu. Hal yang perlu diingat bahwa akselerogram digunakan mewakili gerakan gempa.

Perode alami (*natural period*) dari getaran struktur selalu ditentukan dengan tingkat ketidakpastian (*degree of uncertainty*). Penggunaan hanya satu akselerogram dalam analisis struktural dapat dengan mudah diremehkan (*underestimation*). Untuk alasan ini, jumlah minimum variasi karakteristik dari suatu akselerogram lain yang mungkin dianggap akan mengurangi pengaruh

fluktuasi periode ke periode dalam *spectra*. Maka dari itu analisis riwayat waktu harus dilakukan dengan tidak kurang dari tiga set data (masing-masing berisi dua komponen horizontal atau, jika gerakan vertikal dipertimbangkan, dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal) dari gerakan tanah (*ground motion*) yang harus dipilih dan skala tidak kurang dari tiga catatan gempa (FEMA 356).

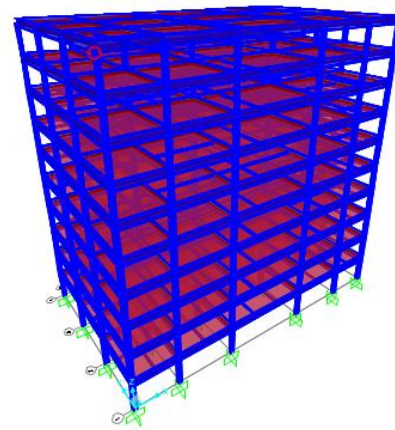
Akselerogram yang dipilih dalam analisis *time history* pada level gempa rencana harus memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan dalam Pasal 11.1.3.2, SNI-1726-2012 yaitu respon spektrum dari gempa aktual (redaman 5%) yang dipilih sebagai gerak tanah masukan, rata-rata nilai percepatannya harus berdekatan dengan respon spektrum dari gempa rencana (redaman 5%) pada periode  $0,2T - 1,5T$ .

## C. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pada penelitian ini adalah metode analisis riwayat waktu, dengan pemodelan struktur portal baja terdiri dari : kolom dan balok (Gambar 1). Beban yang digunakan yaitu : beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan, beban hidup) ditambah beban percepatan gempa. Masing-masing beban gempa diberi tiga pelakuan, yaitu skala gempa diturunkan 50% (0,5g), skala gempa normal (1g) dan skala gempa diperbesar 200% (2g). Data-data yang dihasilkan berupa respon struktur yaitu perpindahan, kecepatan dan percepatan struktur.

Adapun pemodelan struktur portal baja dapat dilihat pada Gambar 1. dengan dimensi dan ukuran penampang pemodelan portal baja yang direncanakan yaitu:

Kolom 1	: Profil W14 x 730
Kolom 2	: Profil W14 x 605
Kolom 3	: Profil W14 x 500
Kolom 4	: Profil W14 x 275
Balok induk	: Profil W40 x 149
Balok anak	: Profil W8 x 24
Mutu baja (fy)	: 400 Mpa



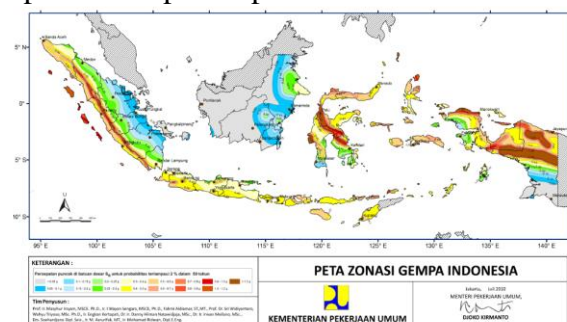
Gambar 1 Pemodelan Struktur Baja

## D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### D.1 Analisis Riwayat Waktu

#### a. Percepatan Gempa Rencana

Parameter kegempaan dalam analisis riwayat waktu adalah percepatan puncak permukaan tanah (*Peak Ground Acceleration / PGA*) dengan level gempa probabilitas terlampaui sebesar 2% selama 50 tahun umur struktur bangunan (Pasal 4.1.1, SNI-1726-2012, mengenai gempa rencana). Nilai PGA yang diperoleh dari Gambar 2 atau Gambar 11 pada Peta Hazard Gempa Indonesia yang terlampir dalam SNI-1726-2012. Nilai PGA Wilayah Banda Aceh, Bengkulu dan Pekanbaru adalah 0.55g, 0.45g dan 0.23g seperti ditampilkan pada Gambar 2.



Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010

Gambar 2 Peta Gempa Indonesia

#### b. Koefisien Situs

Nilai PGA menjadi acuan dalam menentukan nilai koefisien situs  $FPGA$ , yang diperoleh dari Tabel 8 SNI-1726-

2012. Percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (PGAM) dihitung dengan persamaan  $PGAM = FPGA \times PGA$ , dimana diperoleh nilai FPGA untuk wilayah Banda Aceh dengan kategori tanah sedang adalah  $FPGA = 1$ . Persamaan diatas digunakan untuk memperhitungkan percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (PGAM), dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PGAM &= FPGA \times PGA \\ &= 0.55g. \end{aligned}$$

### c. Penskalaan Percepatan Gempa

Percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan dengan I (Faktor Keutamaan Gempa menurut Kategori Resiko Bangunan). Nilai I sesuai fungsi struktur adalah 1. Percepatan gempa masukan disetarakan dengan percepatan permukaan tanah maksimum sesuai kondisi tanah setempat. Untuk menghitung skala intensitas gempa dilakukan dengan membandingkan ke dua percepatan puncak tanah.

**Tabel 1** Perhitungan Nilai Skala Percepatan Gempa

No	Wilayah	PGA	PGA Kobe 0.344 g	PGA Chichi 0.361 g	PGA Imperial Valley 0.315 g
			Skala		
1	Banda Aceh	0.55	1.60	1.52	1.75
2	Bengkulu	0.45	1.37	1.31	1.50
3	Pekanbaru	0.23	0.90	0.85	0.98

### D.2 Perpindahan

Batas perpindahan atau simpangan lantai tingkat ( $\Delta$ ) untuk perencanaan ketahanan gempa struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Persamaan  $\Delta_1 \leq 0.020h_{sx}$ . Nilai simpangan antar lantai (*interstory*

*drift*) setiap lantai diperoleh dari selisih simpangan pusat lantai pada tingkat tersebut dengan simpangan pusat lantai di bawahnya. Berikut diberikan contoh perhitungan *interstory drift* dengan pada lantai ke-1.

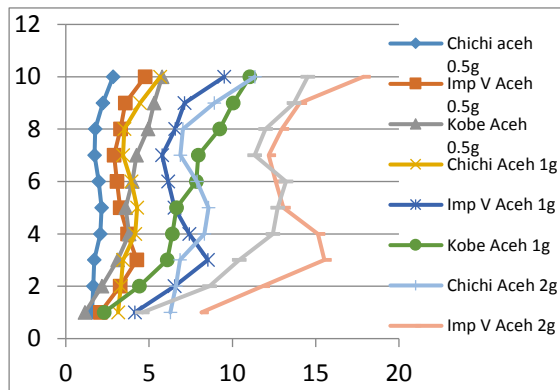
$$\begin{aligned} \Delta_1 &\leq 0.020h_{sx} \\ 0.01218 &\leq 0.020(4) \\ 0.01218 &\leq 0.08 \text{ memenuhi} \end{aligned}$$

Batas perpindahan yang memenuhi yaitu pada percepatan gempa Chichi dan Imperial Valley untuk wilayah Banda Aceh dengan skala gempa diturunkan 50% (0.5g). Pada wilayah Bengkulu, perpindahan yang memenuhi yaitu pada percepatan gempa Chichi (1g), Chichi (0.5g) dan Imperial Valley (0.5g). Sedangkan pada wilayah Pekanbaru perpindahan yang memenuhi yaitu pada percepatan gempa Chichi (0.5g), Chichi (1g), Imperial Valley (0.5g), Imperial Valley (1g) dan Kobe (1g).

### D.3 Percepatan

Percepatan struktur terhadap gempa Chichi di wilayah Aceh mengalami kenaikan sesuai perbesaran atau penurunan skala gempa. Dapat dilihat pada gambar 3. pada lantai 10, untuk skala gempa yang dinaikkan dua kali (2g) percepatan struktur juga naik sebesar dua kalinya dari  $5.6732 \text{ m/s}^2$  menjadi  $11.3464 \text{ m/s}^2$ . Untuk penurunan skala gempa 50% (0.5g) percepatan struktur juga turun 50% dari  $5.6732 \text{ m/s}^2$  menjadi  $2.8366 \text{ m/s}^2$ . Hal ini dikarenakan struktur belum mengalami sendi plastis. Berbeda dengan gempa Imperial Valley, perbesaran skala gempa dua kali menyebabkan percepatan struktur dari  $9.5143 \text{ m/s}^2$  menjadi  $17.8657 \text{ m/s}^2$  hanya membuat percepatan naik 1.87 kalinya. Struktur yang mengalami sendi plastis relatif mengalami penurunan percepatan terhadap skalanya. Perubahan rata-rata percepatan terhadap perbandingan skala gempa dapat dilihat pada Tabel 2





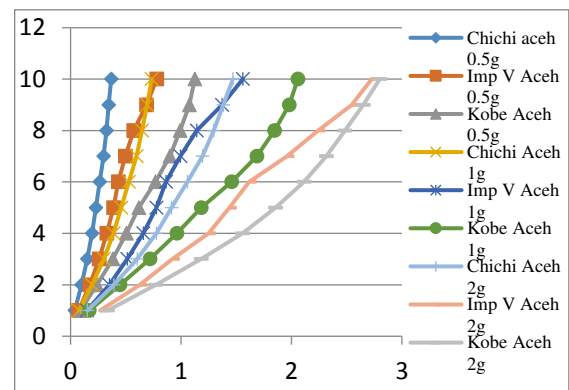
**Gambar 3** Percepatan Struktur terhadap gempa Banda Aceh

**Tabel 2** Perubahan Rata-Rata Percepatan Terhadap Perbandingan Skala Gempa

Wilayah	Gempa	Rata-rata Perbandingan Percepatan	
		1g/0.5g	2g/1g
Banda Aceh	Chichi	2.000	2.000
	Imperial Valley	2.000	1.961
	Kobe	1.907	1.660
Bengkulu	Chichi	2.000	2.000
	Imperial Valley	2.000	1.960
	Kobe	1.948	1.869
Pekanbaru	Chichi	2.000	2.000
	Imperial Valley	2.000	2.000
	Kobe	2.000	1.897

#### D.4 Kecepatan

Kecepatan struktur terhadap gempa Chichi di wilayah Aceh mengalami kenaikan sesuai perbesaran atau penurunan skala gempa. Dapat dilihat pada gambar 4 pada lantai 10 Untuk skala gempa yang dinaikkan dua kali (2g) kecepatan struktur juga naik sebesar dua kalinya dari 0.7348 m/s menjadi 1.4696 m/s. Untuk penurunan skala gempa 50% (0.5g) kecepatan struktur juga turun 50% dari 0.7348 m/s menjadi 0.3674 m/s. Hal ini dikarenakan struktur belum mengalami sendi plastis.



**Gambar 4** Kecepatan Struktur terhadap gempa Banda Aceh

Berbeda dengan gempa Imperial Valley, perbesaran skala gempa dua kali menyebabkan kecepatan struktur dari 1.5595 m/s menjadi 2.7262 m/s hanya membuat kecepatan naik 1.74 kalinya. Struktur yang mengalami sendi plastis relatif mengalami penurunan kecepatan terhadap skalanya.

#### E. KESIMPULAN DAN SARAN

##### E.1 Kesimpulan

1. Batas perpindahan yang memenuhi SNI 1726-2012 yaitu pada percepatan gempa Chichi dan Imperial Valley untuk wilayah Banda Aceh dengan skala gempa diturunkan 50% (0.5g). Pada wilayah Bengkulu, perpindahan yang memenuhi yaitu pada percepatan gempa Chichi (0.5g dan 1g) dan Imperial Valley (0.5g). Sedangkan pada wilayah Pekanbaru perpindahan yang memenuhi yaitu pada percepatan gempa Chichi (0.5g dan 1g), Imperial Valley (0.5g), Imperial Valley (1g) dan Kobe (0.5g).
2. Kecepatan struktur yang diberi beban gempa di wilayah Aceh, Bengkulu dan Pekanbaru berbanding lurus terhadap perbesaran atau penurunan skala gempa. Untuk skala gempa yang dinaikkan dua kali (2g), kecepatan struktur juga naik sebesar dua kalinya. Untuk penurunan skala

- gempa 50% (0.5g) kecepatan struktur juga turun 50%. Hal ini dikarenakan struktur belum mengalami sendi plastis. Berbeda dengan struktur yang mengalami sendi plastis. Struktur yang mengalami sendi plastis relatif mengalami penurunan kecepatan terhadap skalanya.
3. Percepatan struktur yang diberi beban gempa di wilayah Aceh, Bengkulu dan Pekanbaru berbanding lurus terhadap perbesaran atau penurunan skala gempa. Untuk skala gempa yang dinaikkan dua kali (2g) percepatan struktur juga naik sebesar dua kalinya. Untuk penurunan skala gempa 50% (0.5g) percepatan struktur juga turun 50%. Hal ini dikarenakan struktur belum mengalami sendi plastis. Berbeda dengan struktur yang mengalami sendi plastis. Struktur yang mengalami sendi plastis relatif mengalami penurunan percepatan terhadap skalanya.

## E.2 Saran

1. Menambah variasi kondisi tanah lainnya yaitu batuan, tanah keras dan tanah lunak untuk melakukan analisis serupa.
2. Menambahkan variasi akselerasi beban gempa yang agar didapat hasil yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggen, Wandrianto S. “*Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs Studi Kasus : Hotel Di Karanganyar*”. UNS-F.Teknik Jur. Teknik Sipil-1.1111094-2014: Surakarta.
- ASCE. (2000). *FEMA 356 Prestandard and commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C: Federal Emergency Management Agency.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures* (4 ed.): Prentice Hall New Jersey.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Peta zonasi gempa indonesia*. Jakarta: KPU.
- Siregar, Y. A. N. (2010). *Efek didinding pengisi bata pada respons gempa struktur beton bertulang*. UI, Jakarta.
- Schodek, D. L. (1999). *Struktur* (2 ed.). Jakarta: Erlangga.
- SNI 1726:2012, (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Widodo. (2001). *Respon Dinamik Struktur Elastis*. Universitas Islam Indonesia Press.